



SORAYA MARX BAMBERG

**APLICAÇÃO DE DOSES DE SELENATO DE
SÓDIO NO SOLO E MICORRIZA
ARBUSCULAR NO TEOR DE Se EM SOJA E
BRAQUIÁRIA**

**LAVRAS – MG
2015**

SORAYA MARX BAMBERG

**APLICAÇÃO DAS DOSES DE SELÊNIO NO
SOLO E MICORRIZA ARBUSCULARE NO
TEOR DE SELÊNIO EM SOJA E BRAQUIÁRIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, para obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. José Oswaldo Siqueira

**LAVRAS – MG
2015**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Bamberg, Soraya Marx.

Aplicação de doses de selenato de sódio no solo e micorriza
arbuscular no teor de Se em soja e braquiária / Soraya Marx
Bamberg. – Lavras : UFLA, 2015.

49 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2015.

Orientador(a): José Oswaldo Siqueira.

Bibliografia.

1. Selênio. 2. Micorriza arbuscular. 3. Biofortificação. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

SORAYA MARX BAMBERG

**APLICAÇÃO DAS DOSES DE SELÊNIO NO
SOLO E MICORRIZA ARBUSCULAR NO TEOR
DE SELÊNIO EM SOJA E BRAQUIÁRIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do Solo, para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 23 de fevereiro de 2015

Dr. André Rodrigues dos Reis

UNESP

Dr. Marlon Correa Pereira

UFV

Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Co-orientador

Dr. Sílvio Júnior Ramos
Co-orientador

Orientador
Dr. José Oswaldo Siqueira

**LAVRAS – MG
2015**

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras e a FAPEMIG, CAPES e CNPq pelo apoio à pesquisa e subsídio do presente trabalho.

Deixo o meu sentimento de gratidão aos meus pais Heitor Bamberg Júnior e Suzana Marx Bamberg por sempre me encorajarem nessa trajetória e às minhas irmãs Jussara e Angelina fazendo-se presentes, mesmo distante.

Agradeço à Marina Faleiro Barrios e toda a sua família pela recepção e atenção recebida em Lavras.

Ao Marcio Bamberg B., Ítalo Ferreira, André Cunha, Thiago Longo, Lucas Dantas, Matheus Jorge e Diego Posso pelo apoio e amparo em Lavras para eu entrar nessa jornada.

Às amigas e companheiras Aryane Pereira Batista e Anita Fernanda dos Santos T., pelos momentos compartilhados nesses dois anos de Lavras.

Aos vizinhos Mateus Henrique B., Maraisa Souza e Gean Figueiredo pelos cafezinhos e amizade.

Às avós Adélia e Glória pelo amor e zelo mesmo distantes. Aos tios, tias, primos e primas por sempre torcerem pelo meu sucesso. À tia Denise e Arthur pelo apoio e confiança. Às primas Júlia e Ana Carolina pelas conversas e conselhos.

Às fidelíssimas amigas e “engenheiras” Luiza Helena B. Alvarenga, Marina F. Barrios, Gabi Luisa de O. Carvalho, Marina Martins e Mariel A. Vieira pela cumplicidade.

Aos companheiros e amigos do laboratório de microbiologia do solo – UFLA, Andrêssa N., Marisângela V., Luciane Sales, Douglas F., Elaine M., Raissa V., Jacqueline S., Kátia P., Fernanda C., Amanda A., Linnajara F., Paula S., Jessé V., Juliana A., Patrícia F., Elzane, Marlene, Márcia, Sílvia, Matheus

Carvalho e aos demais estagiários, obrigada por toda atenção e boa convivência no laboratório.

À Laíze Vilela, Manoel, Fabrício Salgado e Marco Aurélio C. Carneiro pelo ensinamento e auxílio na condução do experimento, vocês foram fundamentais. Ao Eduardo Cancellier, Raphael Siqueira e Rimena Domingues por todo o suporte na dissertação.

Aos professores Fatima Maria M. de Souza e Marco Aurélio C. Carneiro por todo o apoio técnico e ensinamento sobre a microbiologia do solo.

Aos colegas e amigos do departamento de ciências do solo da UFLA Dirce, Damy, Geila, Maria Alice, João, Betinha, Cleuza, Zélio, Érika, Samara, Raphael, Sérgio, Luana, Sara, Rimena, Henrique, professor Carlos, professor Nilton, Bruno Montoani, Guilherme D., Eduardo C., Cristiano, Geanderson, Fabrício A. e Ferreira, que de alguma forma estiveram presentes no caminho dessa conquista.

Ao professor Alfredo Schaid Lopes pelas dicas e conselhos na elaboração dessa dissertação. A vitória é fruto da experiência, obrigada pelo ensinamento Alfredão.

Ao Sívio Ramos pelas críticas e contribuições no assunto do presente trabalho.

Ao professor José Oswaldo Siqueira pela proposta apresentada e orientação.

Obrigada a Deus que permitiu essa conquista guiando meus passos e aos amigos espirituais, que em sentimento me auxiliaram nessa trajetória!

RESUMO

Devido à essencialidade do selênio para humanos e animais e baixos teores evidenciados nos solos e, conseqüentemente, na alimentação do brasileiro, a estratégia de utilização das micorrizas arbusculares com doses crescentes de selenato de sódio no solo, na tentativa de maior concentração desse elemento na soja e braquiária foi alvo do presente trabalho. Foram avaliados os efeitos desta simbiose no aumento do teor desse elemento nas partes comestíveis da soja e em forragem de braquiária, para tanto foram cultivados em casa de vegetação plantas de soja e braquiária no delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial 5x2 com três repetições, durante 60 e 90 dias, para braquiária e soja respectivamente. Foram utilizadas 5 doses de selenato de sódio aplicados no solo (0,0; 0,5; 1,0; 3,0 e 6,0 mg kg⁻¹ para a braquiária e 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 mg kg⁻¹ para a soja), na presença e ausência de micorrizas arbusculares (inoculo contendo *Acaulospora morrowiae* e *Claroideoglossum etunicatum*) em cada uma das plantas estudadas. Ambas as espécies foram responsivas às doses aplicadas de selenato. Obteve-se maior produção, dos grãos de soja na dose 1,89 mg kg⁻¹, na parte aérea da braquiária com a dose 6,0 mg kg⁻¹, na presença das micorrizas e 2,92 mg kg⁻¹ na ausência das mesmas. Na soja houve um efeito da micorrização sobre o teor de selênio apenas na raiz e na produção de matéria seca da parte aérea, nos grãos foi observado apenas efeito significativo das doses. Ambas espécies de plantas tiveram o teor elevado, bem como o crescimento vegetal com o aumento das doses de Se aplicadas no solo. Os teores encontrados na braquiária ultrapassaram o máximo desejado para o consumo a partir da dose 0,29 mg kg⁻¹. A aplicação de Se em doses elevadas mostrou-se tóxica para a braquiária, mas a micorriza conferiu um efeito protetor no crescimento da planta. Os teores obtidos nos grãos de soja foram satisfatórios

para consumo humano e animal até a dose 3,0 mg kg⁻¹, sendo influenciado apenas pelas doses aplicadas sem efeito micorrízico.

Palavras-chave: Selenato. Fungos micorrizicos. Biofortificação.

ABSTRACT

Owing to selenium essentiality for humans and animals and the low levels evidenced in soils and consequently in Brazilian foods, the strategy to use mycorrhiza as an attempt to greater concentration of this element in soybeans and brachiaria grass, is the target of this work. Was evaluated the effects of this symbiosis at increasing concentration of this element in the edible parts of soybean and Brachiaria forage, Thereunto, was cultivated in a greenhouse soybean and brachiaria grass in a completely randomized design, in 5x2 factorial arrangement with three replications by 60 and 90 days for Brachiaria grass and soybean, respectively. Were used 5 doses of sodium selenate applied to the soil (0,0; 0,5; 1,0; 3,0 e 6,0 mg kg⁻¹ for brachiaria and 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 mg kg⁻¹ for soybean) with the presence and absence of mycorrhiza (inoculum containing *Acaulospora morrowiae* and *Claroideoglopus etunicatum*) in each plants studied. Both species responded to selenate doses applied. We obtained a higher production in soybeans at 1.89 mg kg⁻¹ dose, in shoot brachiaria at the 6.0 mg kg⁻¹ dose in the presence of mycorrhiza and 2.92 mg kg⁻¹ in the absence. In soybeans there was a mycorrhizal effect on the selenium content only at root and shoot dry matter production, in grains was observed only significant effect of doses. Both plant species had plant content enhanced as well as plant growth by increase doses when applied to the soil. The levels found in brachiaria exceeded the maximum desired for consumption from 0.29 mg kg⁻¹ dose. The application of high Se in doses in brachiaria showed a toxic effect, but mycorrhiza

symbiosis conferred a protective effect on plant growth. The levels found in soybeans were satisfactory for human and animal consumption at 3.0 mg kg⁻¹ dose, being influenced only by the applied doses, without mycorrhiza effect.

Keywords: Selenate. Mycorrhizal fungi. Biofortification.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1.0 INTRODUÇÃO GERAL	10
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Selênio.....	12
2.2 Selênio nas plantas.....	14
2.3 Micorrizas Arbusculares.....	17
2.4 Micorrizas arbusculares e Selênio	19
REFERÊNCIAS.....	20

CAPÍTULO II

APLICAÇÃO DAS DOSES DE SELÊNIO NO SOLO E MICORRIZA ARBUSCULAR NO TEOR DE SELENIO EM SOJA E BRAQUIÁRIA.	
1.0 INTRODUÇÃO	29
2.0 MATERIAL E MÉTODOS	31
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.0 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS.....	43

1.0 INTRODUÇÃO GERAL

O Selênio (Se) é um elemento essencial aos seres humanos e animais, principalmente, pelo fato de compor aminoácidos e proteínas, conhecidos como selenoaminoácidos (selenocisteína e selenometionina) e selenoproteínas, que por sua vez constituem enzimas de extrema importância funcional. Dentre suas funções, as mesmas estão associadas à ação antioxidante e função hormonal, atribuídos a glutathione peroxidase e iodotironina 5' deiodinase (FORDYCE, 2013). O Se, também, atua contra várias doenças, incluindo câncer e cardiomiopatia (CLARK et al., 1997; COMBS, 2000; LARSEN et al., 2006). Por isso, estudos nos Estados Unidos da América (EUA) recomendam o consumo de 50 a 70 $\mu\text{g dia}^{-1}$ de Se para adultos (BURK, 2003) e 0,1 mg kg^{-1} de matéria seca vegetal para bovinos (SUBCOMMITTEE ON BEEF CATTLE NUTRITION, 2000). No Brasil, segundo pesquisa de Maihara et al. (2004), a maioria da população brasileira apresenta consumo inferior ao desejável. Ferreira et al. (2002) encontraram baixos teores de Se em alimentos consumidos no Brasil e sugeriram que esses resultados são consequência das concentrações obtidas em rações animais, formulações de fertilizantes e ocorrência em baixo teor solo (0,1 a 0,6 mg kg^{-1}).

A soja é um alimento de abrangência nacional, tanto pelo cultivo, quanto pelo consumo, principalmente na forma de óleo vegetal e, por fazer parte de rações animais. Dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2013) mostraram que essa cultura representa 49% das áreas de grãos cultivadas no Brasil, tendo 30,7 milhões de toneladas processadas, com isso gerando 5,8 milhões de toneladas de óleo comestível e 23,5 milhões de toneladas de farelo proteico, ambos base da alimentação humana e animal.

No Brasil, as pastagens de braquiária são cultivadas em larga escala e constituem-se na principal fonte de alimento para os bovinos. Além disso, o

Brasil se destaca como o maior exportador mundial de carne bovina, tendo como base para sua produção as pastagens (DIAS-FILHO, 2014). Segundo o Anuário Brasileiro da Pecuária (2014) a projeção feita para a produção brasileira de carnes para a próxima década é de 13,6 milhões de toneladas, e para tal utilizará 113,8 milhões de hectares. Cerca de 85% destas áreas de pastagem, se localizam principalmente em solos de região dominadas pelo bioma Cerrado (CLÁUDIO TAKAO et al., 2011). Dentre as espécies cultivadas, aquelas pertencentes ao gênero *Brachiaria* ocupam a maior parte dessas áreas, uma vez que possuem grande flexibilidade de uso e manejo, sendo tolerantes a uma série de limitações e condições restritivas de cultivo. No entanto, o fator principal que eleva a preocupação é que, o teor de Se encontrado nessas plantas, em solos brasileiros, variam de 10,4 a 79,7 $\mu\text{g kg}^{-1}$ de matéria seca, o que é considerado baixo (FARIA, 2009).

A soja e a braquiária são culturas típicas do Cerrado brasileiro e ocupam grande parte do território nacional. Os solos predominantes desta região possuem baixo teor de nutrientes, elevada acidez e baixos teores de Se (CARVALHO, 2011).

Ocorrendo em quase todas as espécies vegetais (), as micorrizas arbusculares são simbioses mutualísticas que beneficiam as plantas através do prolongamento das raízes pelas hifas fúngicas e dessa forma promovendo uma maior absorção de nutrientes e água do solo (SIQUEIRA; FRANCO, 1988; MOREIRA, F. M. .; SIQUEIRA, 2006; SMITH, S.E. & READ, 2008).

Dessa forma, acredita-se que devido efeito potencializador das hifas micorrízicas no aumento da absorção de nutrientes, acredita-se que as micorrizas podem exercer expressiva contribuição para o aumento da absorção de Se. Desta forma, o favorecimento do desenvolvimento de fungos micorrízicos pode ser uma ferramenta para auxiliar na biofortificação agronômica.

Diante deste contexto o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de selenato de sódio ao solo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no crescimento das plantas e aumento do teor de Se na soja e braquiária.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Selênio

O selênio foi descoberto em 1817 por Jons Jacob Berzelius e pelo fato de apresentar propriedades químicas de metal e ametal foi considerado um metaloide. Entretanto, o Se é um não metal, isólogo ao enxofre (S) (TERRY et al., 2000; SORS; ELLIS; SALT, 2005) e telúrio, e localiza-se no grupo 16, calcogênio, da tabela periódica.

A ocorrência desse elemento pode se dar em formas orgânicas: compostos metilados, seleno-aminoácidos, selenoproteínas e seus derivados, e inorgânicas: selênio elementar, íons de selenato, etc. (Tabela 1) (FORDYCE, 2013).

Tabela 1 – Formas químicas do Selênio no ambiente

Estado oxidativo do Se	Formas químicas no ambiente
Se ²⁻	Seleneto (Se ²⁻ , HSe ⁻ , H ₂ Se _{aq})
Se ⁰	Selênio elementar (Se ⁰)
Se ⁴⁺	Selenito (SeO ₃ ²⁻ , HSeO ₃ ⁻ , H ₂ SeO _{3aq})
Se ⁶⁺	Selenato (SeO ₄ ²⁻ , HSeO ₄ ²⁻ , H ₂ SeO _{4aq})
Se orgânico	Selenometionina, Selenocisteína

Tabela adaptada de Fordyce (2013)

Classificado como elemento traço, devido à sua ocorrência e necessidade em quantidades muito baixas, o Se está presente na concentração de $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ a $0,50 \text{ mg kg}^{-1}$ na crosta terrestre (KABATA-PENDIAS, 2011) sendo, geralmente, encontrado no solo em baixas concentrações, em torno de $0,01$ a 2 mg kg^{-1} (BROADLEY et al., 2012). O Se é um elemento requerido em pequenas quantidades pelos animais e humanos (BROADLEY et al., 2012; FORDYCE, 2013), porém essencial à saúde dos mesmos. Em quantidades elevadas, o Se tem efeito tóxico tanto em plantas, animais e seres humanos. Em geral as doses benéficas e tóxicas para humanos são $< 40 \text{ } \mu\text{g dia}^{-1}$ e $> 400 \text{ } \mu\text{g dia}^{-1}$ (WHANGER, 2004), respectivamente, e para os demais seres vivos esse nível é variável.

A essencialidade do Se é comprovada pela sua função em ativar enzimas, principalmente a glutathione peroxidase, iodotironina 5' deiodinase e tiorredoxina redutase que possuem, respectivamente, ação antioxidante no sistema de defesa das células, auxílio na regulação hormonal e regulação redox (RAYMAN, 2008; FORDYCE, 2013; LEITE & SARNI, 2003; COZZOLINO & MICHELAZZO, 2012). Além de gerar benefícios no metabolismo humano comprovados contra o câncer (COMBS, 2000; WHANGER, 2004). Apesar de requerido em pequenas quantidades por animais e humanos, há evidências da carência desse mineral na alimentação humana e animal (REIS L.S.L.S. et al., 2009). A ingestão diária recomendada de Se para adultos é em torno de 50 a $200 \text{ } \mu\text{g dia}^{-1}$ (FERREIRA et al., 2002; RAYMAN, 2002), variando de acordo com o peso do indivíduo, sendo as principais fontes disponíveis nos peixes, castanhas e alguns laticínios. A maioria dos alimentos apresenta teores de Se em função da quantidade desse elemento no solo.

O estudo de Faria (2009) para diversas classes de solos brasileiros, entre eles o Latossolo amarelo, Latossolo vermelho, Argissolo amarelo, Cambissolo háplico, Neossolo quartzarênico, Gleissolo háplico e Nitossolo vermelho,

verificou teores de Se variando de 80 a 220. Estes valores refletem baixa disponibilidade desse elemento nos solos brasileiros (FARIA, 2009 & CARVALHO, 2011). Conforme reportado por Hartikainen (2005), o governo da Finlândia com o intuito de melhorar a saúde da população, no que se refere às doenças ligadas a deficiência de Se, adotou na década de 80 a inclusão do Se nos fertilizantes, visto que os solos desse país apresenta também baixos teores desse elemento.. Com isso houve acréscimo nos teores de Se ingerido pela população, redução da incidência de câncer (citação), configurando um exemplo de sucesso da biofortificação alimentar.

2.2 Selênio nas plantas

As plantas possuem o mecanismo de acumular Se em seus tecidos e ou incorporá-los a aminoácidos e proteínas, podendo ser classificadas como acumuladoras, indicadoras e não acumuladoras (TERRY et al., 2000; SORS; ELLIS; SALT, 2005), dentre as acumuladoras, elas podem ser caracterizadas quanto a quantidade absorvida, sendo primárias com teor $> 1000 \text{ mg kg}^{-1}$ ou secundárias com teor entre 50 e 1000 mg kg^{-1} (FORDYCE, 2013), para valores abaixo de 50 mg kg^{-1} são classificadas como não acumuladoras. Em plantas forrageiras valores menores que $0,3 \text{ mg kg}^{-1}$ na matéria seca, é caracterizado a deficiência desse elemento para os animais.

Mesmo não sendo um nutriente essencial as plantas, o selênio possui um caráter benéfico (TERRY et al., 2000; SORS et al., 2005), pois, atua no sistema oxidativo dos vegetais, retardando a senescência. Em alguns estudos, foi constatado a maior produção de biomassa em braquiária e alho, através da fertilização com Se nas formas de selenato e selenito de sódio (RAMOS et al., 2010, 2012; PATHARAJAN & RAAMAN, 2012) e maior atividade de enzimas do sistema antioxidativo, tais como superóxido dismutase e catalase.

A disponibilidade de Se para as plantas é dependente da concentração do mesmo no ambiente (Figura 1) (FERREIRA et al., 2002; BANUELOS; LIN; YIN, 2013; FORDYCE, 2013), e para elevar essa disponibilidade, o selenato de sódio quando comparado ao selenito, exceto em situações de baixa disponibilidade de O_2 , tem se mostrado mais eficiente na capacidade de fornecer Se, pois além de ser rapidamente translocado da raiz para a parte aérea das plantas, não é rapidamente adsorvido aos óxidos de ferro presente nos argilominerais do solo e, ainda é até 10 vezes mais absorvido que o selenito (TERRY et al., 2000; BROADLEY et al., 2012).

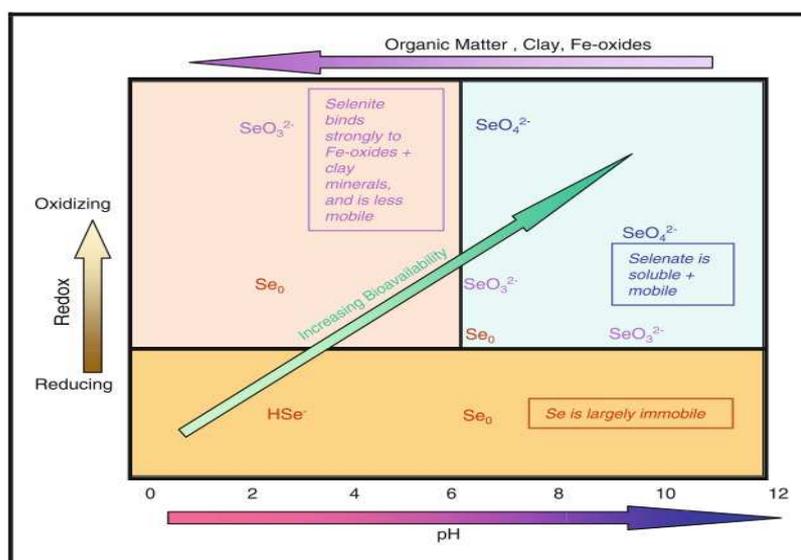


Figura 1. Disponibilidade e ocorrência de selênio no solo. Fordyce (2013).

A absorção do Se, na forma de selenato, ocorre nas plantas pelas mesmas vias metabólicas que o sulfato (PILON-SMITH et al., 2010; SORS et al., 2005), pois, são componentes quimicamente análogos (BROADLEY et al., 2012). Segundo Leustek (2002) e Terry et al. (2000), o selenato é absorvido pelas plantas através da membrana plasmática das células epidérmicas das raízes contra um gradiente eletroquímico, no qual a captação é realizada pelo

transporte concomitante de três prótons para cada íon. Em estudo feito em braquiária Ramos et al. (2012), sem inoculação de fungo micorrizico arbuscular (FMA), mas com a fertilização de Se, verificou maior acúmulo de Se na planta, quando aplicado na forma de selenato de sódio e em baixas dosagens ($< 3 \text{ mg kg}^{-1}$).

Nas plantas, o Se pode substituir o S na formação de aminoácidos e proteínas, dando origem aos análogos selenoaminoácidos, como exemplo a selenometionina e selenocisteína, selenoproteínas (WHANGER, 2004; SORS et al., 2005), sendo o Se-metionina a forma que ocorre em maior quantidade desses aminoácidos na maioria das plantas (CABRAL & BASTOS, 2006). Sabe-se ainda que pode haver a ocorrência de aminoácidos não proteicos e solúveis, quando o teor de Se é muito elevado. Tal situação é, principalmente verificada em plantas hiper acumuladoras (TERRY et al., 2000; SORS et al., 2005). Outra destinação do Se nas plantas é a transformação de compostos orgânicos em compostos voláteis, como por exemplo no citosol quando ocorre a quebra de Se-metionina com outras transformações sequenciais liberando o di-metilseleneto (SORS et al., 2005; BROADLEY et al., 2012).

O metabolismo do Se nas plantas (Figura 2) inicia-se na raiz, sendo absorvido ativamente pelos transportadores de sulfato, nos plastídeos a ATP sulfúrilase (APS) reage com o SeO_4^{2-} formando a adenosina fosforoselenato (APSe). Posteriormente, a enzima adenosina fosforoselenato redutase (APR) catalisa a APSe, convertendo-a em selenito SeO_3^{-2} , que por sua vez é transformado em Se^{2-} pela ação do sulfito redutase e, finalmente, o Se^{2-} é convertido em selenocisteína (SeCys) através da ação da O-acetilserina(tiol)liase (OAS). A SeCys é rapidamente convertida em metilselenocisteína (MeSeCys) devido à sua elevada instabilidade. Passando para o citosol começa a formação do aminoácido selenometionina (SeMet) através da reação da Sehomocys com a metionina sintase. A SeMet pode, por sua vez, dá origem a compostos voláteis

ou compor proteínas tanto no plastídeo quanto no citosol (PILON-SMITH; QUINN, 2010).

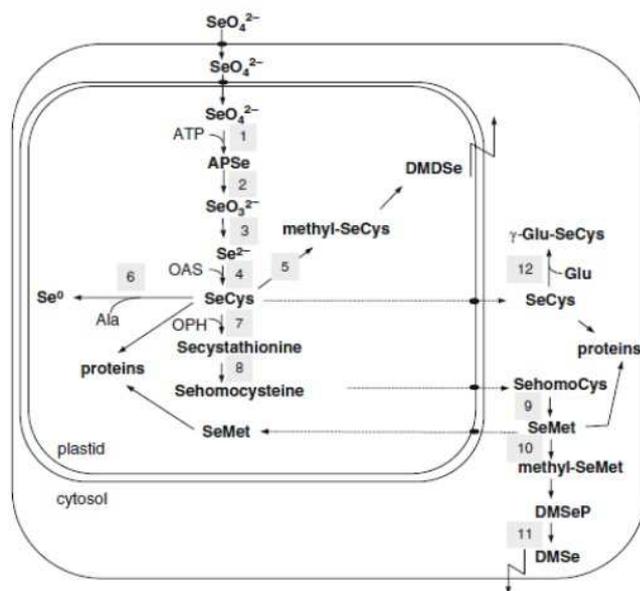


Figura 2. Assimilação do Se nas plantas. Pilon-Smith et al., (2010).

2.3 Micorrizas Arbusculares

As micorrizas são relações simbióticas, não patogênicas e benéficas entre fungos micorrízicos e plantas superiores (SIQUEIRA et al., 2007). Esta associação é caracterizada como o tipo de mutualismo mais comum na natureza (SIQUEIRA; LAMBAIS; STÜRMER, 2002), possuindo dessa forma uma grande variedade de espécies de fungos e condições para o estabelecimento da simbiose. O estabelecimento dessa simbiose ocorre através do fornecimento de fotoassimilados da planta oriundos da fotossíntese para os fungos, que em contrapartida absorvem nutrientes minerais e água do solo para as plantas (SOUZA et al., 2008). Isso ocorre porque as micorrizas arbusculares (MAs) desenvolvem estruturas intra e intercelular no córtex das raízes das plantas

(MIRANDA & MIRANDA, 1997; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006) e dessa forma formam estruturas específicas no interior das células corticais.

Os fungos que formam as micorrizas arbusculares (FMAs) não requerem uma regra ou especificidade para eleger a planta hospedeira (SIQUEIRA et al., 2002), entretanto, há estudos apontado haver uma associação preferencial entre espécies de fungos e plantas (POUYÚ-ROJAS & SIQUEIRA, 2000). A ocorrência dos FMAs é ampla, podendo ser encontrada em todas as latitudes e em quase todos os ecossistemas terrestres (SIQUEIRA & FRANCO, 1988). A absorção de nutrientes através destes, ocorrem em mais de 97% das fanerógamas de ambientes tropicais, sendo portanto o grupo de fungos de maior praticidade e possibilidade para a propagação de esporos (MOREIRA, F. M. ; SIQUEIRA, 2006).

Existem vários estudos mostrando a eficiência das FMAs na absorção de elementos como P, Zn e Cu (SIQUEIRA et al., 1998; BRESSAN et al., 2001; SIQUEIRA & SAGGIN-JÚNIOR, 2001). Marschner & Dell (1994) constataram que a contribuição da micorriza na absorção pode atingir até 100% de eficiência na absorção do P em plantas micorrizadas, bem como 25% para o Zn e 60% para o Cu. A eficiência das MAs na maior absorção de nutrientes pode ser atribuída em virtude do pequeno diâmetro de suas hifas, que permitem uma maior exploração dos espaços do volume do solo, inalcançáveis pelas raízes, conseqüentemente elevando as taxas de influxo nas plantas por unidade de superfície (MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, 2006). Várias espécies de plantas respondem positivamente à inoculação com fungos MAs, entre elas café, soja, milho, batata-doce, mandioca, cana-de-açúcar, forrageiras, além de várias essências florestais e frutíferas brasileiras (MIRANDA & MIRANDA, 1997; BERBARA et al., 2006).

Sendo alvo de pesquisas mais intensas a partir da década de 80 desde 1984, as MAs têm se mostrado bastante eficientes, principalmente, devido à sua diversidade, ocorrência e benefício na nutrição das plantas, dessa forma, apresentam um elevado interesse agrônomo. Embora os efeitos das MAs tenham sido objetos de inúmeras pesquisas no Brasil e já existirem inúmeras pesquisas com o Se em plantas, são poucos os relatos dos efeitos das MAs na absorção de Se.

2.4 Micorrizas arbusculares e Selênio

Os estudos sobre o comportamento destes fungos na absorção de elementos traço são vastos, e em especial para o Se são recentes (NOGUEIRA; SOARES, 2010). Geralmente quando ocorre a alta concentração de elementos traço no ambiente, os FMAs comportam-se como agentes tamponantes (NOGUEIRA & SOARES, 2010; ANZANELLO et al., 2011), ou seja regula a absorção desses elementos na planta, adquirindo maior concentração na planta quando há menor disponibilidade no solo ou controlando a absorção, de acordo com a capacidade ou necessidade da planta quando há elevada disponibilidade.

Embora raros, há relatos mostrando que as MAs podem favorecer a absorção de Se pelas plantas. No sul do Chile, um experimento com trigo, selenobactérias (*Stenotrophomonas sp. B19*, *Enterobacter sp. B16*, *Bacillus sp. R12*, e *Pseudomonas sp. R8*) e fungo micorrízico *Glomus claroideum* demonstrou efeito sinérgico entre esses componentes, resultando em um aumento de aproximadamente 23% no teor de Se na planta (DURÁN et al., 2013). O teor de Se em alho foi elevado na planta quando, juntamente à fertilização do solo, foi acrescido o fungo micorrízico *Glomus intraradices* (LARSEN et al., 2006). Por outro lado, estudos envolvendo a absorção do Se com adição do fungo *Glomus mossae*, em alfafa, milho e soja mostraram, que o

teor de Se nas raízes e parte aérea diminuíram quando se aplicou uma menor dosagem de Se (0 e 2 mg kg⁻¹). Em alfafa e milho obteve-se uma maior acumulação de Se, quando se aplicou o elemento na maior dose, cerca de 20 mg kg⁻¹ (YU et al., 2011). A absorção do Se, também foi avaliada em rabanetes, azevém, milho e alface, sob condições de solo argiloso, com o FMA *Glomus mossae*, e os resultados obtidos variaram de acordo com a espécie da planta.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO BRASILEIRO DA PECUÁRIA. **Anuário Brasileiro da Pecuária**. Santa Cruz do Sul, RS: Editora Gazeta, 2014.

ANZANELLO, R.; DE SOUZA, P. V. D.; CASAMALI, B. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em porta-enxertos micropropagados de videira. **Bragantia**, v. 70, p. 409–415, 2011.

BANUELOS, S. G.; LIN, Z.-Q.; YIN, X. Selenium in the Environment and Human Health. In: **Selenium in the Environment and Human Health**. [s.l.] CRC Press Taylor & Francis, 2013. p. 248.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, M. A. C. H. III - FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES : Muito Além da Nutrição. In: **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: [s.n.]. p. 53–85.

BRESSAN, W. et al. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 315–323, fev. 2001.

BROADLEY, M. et al. Beneficial Elements. In: MARSCHNER'S, P. (Ed.). . **Mineral Nutrition of Higher Plants**. third ed.[s.l.] Elsevier, 2012. p. 263–268.

BURK, R. F. Selenium. In: **Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids**. [s.l.] National Academy of Sciences, 2003. p. 283–324.

BUTTERWORTH, J.; BUGANG, W. **China, Peoples Republic of FAIRS Product Specific Maximum Levels of Contaminants in Foods**. Bejin: [s.n.].

CABRAL, M. C.; BASTOS, W. R. **ANALISE DE SELÊNIO EM PEIXES , VEGETAIS E SOLOS DO LAGO PURUZINHO – AMAZÔNIA**. 2006. FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA, Porto Velho, 2006.

CARTES, P.; GIANFREDA, L.; MORA, M. L. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. **Plant and Soil**, v. 276, p. 359–367, 2005.

CARVALHO, G. S. **Selênio E Mercúrio Em Solos Sob Cerrado Nativo**. 2011. Universidade Federal de Lavras, 2011.

CLARK, L. C. et al. Effect of selenium supplementation for cancer prevention 1983-96: A randomized clinical trial. **FASEB Journal**, v. 11, n. 3, 1997.

CLÁUDIO TAKAO, K. et al. Gênero *Stylosanthes*. In: FONSECA, D. M.; J.A., M. (Eds.). **Plantas Forrageiras**. Viçosa: Editora Viçosa, 2011. p. 366–401.

COMBS, G. F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 05, p. 517–547, mar. 2000.

COZZOLINO, S. M. F. .; MICHELAZZO, F. B. . Biodisponibilidade: conceitos, definições e aplicabilidade. In: **Biodisponibilidade de Nutrientes**. 4. ed. Barueri - São Paulo: Editora Manole Ltda, 2012. p. 3–10.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das Pastagens no Brasil**. [s.l.] EMBRAPA, 2014.

DURÁN, P. et al. Enhanced selenium content in wheat grain by co-inoculation of selenobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi: A preliminary study as a potential Se biofortification strategy. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 275–280, maio 2013.

FARIA, L. DE ABREU. **Levantamento sobre Selênio em solos e plantas do Estado de São Paulo e sua aplicação em plantas forrageiras**. 2009. Universidade de São Paulo - USP, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, nov. 2011.

FERREIRA, K. S. et al. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health**, v. 11, n. 3, p. 172–177, 2002.

FERREIRA, K. S. **Fontes Alimentares de Selenio**. Disponível em: <<http://www.uenf.br/dic/ascom/2012/08/08/fontes-alimentares-de-selenio/>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

FORDYCE, F. M. Selenium Deficiency and Toxicity in the Environment. In: SELINUS, O. (Ed.). **Essentials of Medical Geology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. p. 375;413.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489–500, 1980.

HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. **Journal of trace elements in medicine and biology : organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)**, v. 18, n. 4, p. 309–18, jan. 2005.

HARTIKAINEN, H.; XUE, T.; PIIRONEN, V. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. **Plant and Soil**, v. 225, n. 1997, p. 193–200, 2000.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace Elements in Soil and plants**. 4. ed. [s.l.: s.n.].

LARSEN, E. H. et al. Uptake and speciation of selenium in garlic cultivated in soil amended with symbiotic fungi (mycorrhiza) and selenate. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 385, n. 6, p. 1098–1108, jun. 2006.

LEITE, H. P.; SARNI, R. S. **Radicaís livres, anti-oxidantes e nutrição**. 2003.

LEUSTEK, T. Sulfate metabolism. **The Arabidopsis book / American Society of Plant Biologists**, v. 1, p. 1–17, jan. 2002.

MAIHARA, V. A. et al. Daily dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 259, n. 3, p. 465–468, 2004.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. [s.l.] Agronômica Ceres, 1980.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v. 159, n. 1, p. 89–102, 1994.

MENGEL, K.; KIRBY, E. **Principles of Plant Nutrition**. [s.l.] Bern: International Potash Institute, 1987.

MIRANDA, J. C. C. DE; MIRANDA, L. N. DE. Micorriza Arbuscular. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds.). **BILOGIA DOS SOLOS DOS CERRADOS**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 1997. p. 67–111.

MORAES, M. F. et al. **Práticas agronomicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares** 2009.

MORAES, M. F. et al. BIOFORTIFICAÇÃO – ALTERNATIVA À SEGURANÇA NUTRICIONAL. **INFORMAÇÕES AGRONOMICAS**, n. 140, p. 9–15, dez. 2012.

MOREIRA, F. M. .; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas. In: **Microbiologia e bioquímica do solo**. Segunda ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 543, 661.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.

MUNIER-LAMY, C. et al. Selenium bioavailability and uptake as affected by four different plants in a loamy clay soil with particular attention to mycorrhizae inoculated ryegrass. **Journal of environmental radioactivity**, v. 97, n. 2-3, p. 148–58, jan. 2007.

NOGUEIRA, M. A.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas Arbusculares e Elementos-Traço. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Eds.). **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 475–501.

ORTAS, I. Do Maize and Pepper Plants Depend on Mycorrhizae in Terms of Phosphorus and Zinc Uptake? **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n. 11, p. 1639–1656, ago. 2012.

PATHARAJAN, S.; RAAMAN, N. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and selenium uptake by garlic plants. **Archives Of Phytopathology And Plant Protection**, v. 45, n. 2, p. 138–151, jan. 2012.

PHILLIPS J. M.; HAYMAN, D. S. **Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection.** [s.l: s.n.].

PILON-SMITH, E. H. A. .; QUINN, C. F. . Selenium Metabolism in Plants. In: HELL, R.; RALF-RAINER MENDEL (Eds.). . **Cell Biology of Metals and Nutrients.** [s.l.] SPRINGER, 2010. v. 17p. 281–298.

POUYÚ-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 103–114, jan. 2000.

RAMOS, S. J. et al. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. **Plant, Soil and Environment**, v. 56, n. 12, p. 584–588, 2010.

RAMOS, S. J. et al. Response of brachiaria grass to selenium forms applied in a tropical soil. **Plant, Soil and Environment**, p. 521–527, 2012.

RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 61, n. 2, p. 203–215, 2002.

RAYMAN, M. P. ; Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. **British Journal of Nutrition**, p. 254–268, 2008.

REIS L.S.L.S. et al. Efeito da suplementação com selênio sobre a concentração sérica de creatina kinase em bovinos. **Archivos de zootecnia**, v. 58 (224), p. 753–756, 2009.

RIBEIRO, A. C. .; GUIMARÃES, P. T. G. .; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação.** Viçosa: Editora Viçosa, 1999.

SILVA, S. DA; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1749–1757, dez. 2006.

SIQUEIRA, J. O. et al. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. **Mycorrhiza**, v. 7, n. 6, p. 293–300, maio 1998.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. MICORRIZAS. In: SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. (Eds.). . **Biotechnologia do solo perspectivas e fundamentos**. 1. ed. Brasília: MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. p. 125–166.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R. .; STÜRMER, S. L. . Fungos micorrízicos. **Biotechnologia Ciência & Desenvolvimento**, p. 12, 21, 2002.

SIQUEIRA, J.; SAGGIN-JÚNIOR, O. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, v. 11, n. 5, p. 245–255, out. 2001.

SMITH, S.E. & READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3.ed. ed. London: Academic Press, 2008.

Soja: Exportação. Disponível em:
<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/exportacao>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis research**, v. 86, n. 3, p. 373–389, dez. 2005.

SUBCOMMITTEE ON BEEF CATTLE NUTRITION, N. RRSEARCH C. **Nutrient Requirements of Beef Caattle**. 7. ed. Washington: National Academy Press, 2000.

TERRY, N. et al. Selenium in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 51, p. 401–432, 2000.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 3051 A: micro-wave assisted acid digestion of sediments sludges, soils and oils. In: **Sw-846: Test methods for evaluation solid waste physical and chemical methods**. Washington: Office of Solid Waste, US. Environmental Protection Agency, 1998. p. 1–20.

WHANGER, P. D. Selenium and its relationship to cancer: an update. **British Journal of Nutrition**, v. 91, n. 01, p. 11–28, mar. 2004.

XUE, T.; HARTIKAINEN, H. Association of antioxidative enzymes with the synergistic effect of selenium and UV irradiation in enhancing plant growth. **Agricultural and Food Science in Finland**, v. 9, n. 2, p. 177–186, 2000.

YANG, F. et al. Effect of the application of selenium on selenium content of soybean and its products. **Biological trace element research**, v. 93, p. 249–256, 2003.

YU, Y. et al. Accumulation and speciation of selenium in plants as affected by arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. **Biological trace element research**, v. 143, n. 3, p. 1789–98, dez. 2011.

YULING, Y.; YUANYING, L. Distribution of selenium in selenite-enriched soybean. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, v. 6, n. 4, p. 318–321, 2014.

APLICAÇÃO DAS DOSES DE SELÊNIO NO SOLO E MICORRIZA ARBUSCULAR NO TEOR DE SELENIO EM SOJA E BRAQUIÁRIA

RESUMO

Devido à essencialidade do selênio para humanos e animais e baixos teores evidenciados nos solos e, conseqüentemente, na alimentação do brasileiro, a estratégia de utilização das micorrizas arbusculares com doses crescentes de selenato de sódio no solo, na tentativa de maior concentração desse elemento na soja e braquiária foi alvo do presente trabalho. Foram avaliados os efeitos desta simbiose no aumento do teor desse elemento nas partes comestíveis da soja e em forragem de braquiária. Para tanto foram cultivados em casa de vegetação plantas de soja e braquiária no delineamento inteiramente casualizados em esquema fatorial 5x2 com três repetições, durante 60 e 90 dias, para braquiária e soja respectivamente. Foram utilizadas 5 doses de selenato de sódio aplicados no solo (0,0; 0,5; 1,0; 3,0 e 6,0 mg kg⁻¹ para a braquiária e 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 mg kg⁻¹ para a soja), na presença e ausência de micorrizas arbusculares (inoculo contendo *Acaulospora morrowiae* e *Claroideoglossum etunicatum*). Ambas as espécies foram responsivas às doses aplicadas de selenato. Obteve-se maior produção, dos grãos de soja na dose 1,89 mg kg⁻¹, na parte aérea da braquiária com a dose 6,0 mg kg⁻¹, na presença das micorrizas e 2,92 mg kg⁻¹ na ausência das mesmas. A aplicação do Se no solo aumentou o crescimento vegetal da soja e da braquiária, sendo esse crescimento mais acentuado na presença de micorriza e na maior dose de Se para a braquiária. A aplicação de selenato de sódio elevou o teor de Se nos grãos de soja em todas as doses testadas. As micorrizas não tiveram efeito nítido para o teor desse elemento em ambas as espécies. A aplicação de selenato de sódio em doses elevadas teve efeito negativo no

crescimento das plantas, entretanto a micorriza exerceu efeito protetor contra o excesso deste elemento no solo.

Palavras-chave: Selenato. Fungos micorrizicos. Biofortificação.

ABSTRACT

Owing to selenium essentiality for humans and animals and the low levels evidenced in soils and consequently in Brazilian foods, the strategy to use mycorrhiza as an attempt to greater concentration of this element in soybeans and brachiaria grass, is the target of this work. Was evaluated the effects of this symbiosis at increasing concentration of this element in the edible parts of soybean and Brachiaria forage, Thereunto, was cultivated in a greenhouse soybean and brachiaria grass in a completely randomized design, in 5x2 factorial arrangement with three replications by 60 and 90 days for Brachiaria grass and soybean, respectively. Were used 5 doses of sodium selenate applied to the soil (0,0; 0,5; 1,0; 3,0 e 6,0 mg kg⁻¹ for brachiaria and 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 mg kg⁻¹ for soybean) with the presence and absence of mycorrhiza (inoculum containing *Acaulospora morrowiae* and *Claroideoglobus etunicatum*) in each plants studied. Both species responded to selenate doses applied. We obtained a higher production in soybeans at 1.89 mg kg⁻¹ dose, in shoot brachiaria at the 6.0 mg kg⁻¹ dose in the presence of mycorrhiza and 2.92 mg kg⁻¹ in the absence. The application of Se at soil increased plant growth of soybean and Brachiaria, and it was stronger in the presence of mycorrhizae and higher Se dose for brachiaria. The use of sodium selenate increased the Se content for soybeans in all tested doses. The mycorrhizae had no neat effect to the content of this element in both species. Application of high dose sodium selenate had a negative effect on plant growth, however, the mycorrhiza has a protective effect against the excess of this element over soil.

Keywords: Selenate. Mycorrhizal fungi. Biofortification.

1.0 INTRODUÇÃO

O Selênio (Se) é um elemento essencial aos seres humanos e animais, principalmente, pelo fato de compor selenoaminoácidos e selenoproteínas, que por sua vez constituem enzimas de extrema importância funcional. As funções dessas enzimas estão associadas à ação antioxidante e função hormonal, atribuídos a glutathione peroxidase e a iodotironina 5' deiodinase (FORDYCE, 2013). Por isso, o Se é amplamente dito que contribui na redução de doenças, principalmente o câncer (CLARK et al., 1997; COMBS, 2000; LARSEN et al., 2006).

O selênio pode ser obtido através de uma alimentação rica do mesmo. Entretanto há evidências que a maioria dos solos brasileiro é deficiente nesse elemento (CARVALHO, 2011), refletindo no baixo teor encontrado na maioria dos alimentos (FERREIRA, 2012). A recomendação para a ingestão de Se é de 50 a 70 $\mu\text{g dia}^{-1}$ de Se para adultos (BURK, 2003) e 0,1 mg kg^{-1} de matéria seca vegetal para bovinos (SUBCOMMITTEE ON BEEF CATTLE NUTRITION, 2000).

Estratégias envolvendo o Se na adubação de plantas para aumentar o teor desses elementos nas partes comestíveis dos alimentos sendo realizadas durante muitas décadas, com sucesso em muitos dos casos, como o adotado na Finlândia, que foi o primeiro país a obrigar a inclusão de Se nos fertilizantes, e os resultados mostram redução da incidência de câncer na população desse país (citação). A biofortificação com Se pode ser realizada de duas formas, através da adubação (biofortificação agrônômica) ou ainda através do melhoramento genético das plantas (biofortificação genética) para elevar o teor de Se nos alimentos.

A soja é um dos alimentos de abrangência mundial, tanto para consumo quanto para cultivo. No Brasil, os dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2013), mostram que essa cultura representa 49% das áreas de grãos cultivadas.

Por outro lado, as pastagens de braquiária são cultivadas em larga escala no Brasil e constituem-se na principal fonte de alimento para os bovinos. O Brasil é, atualmente, o maior exportador mundial de carne bovina, tendo como base para sua produção as pastagens (DIAS-FILHO, 2014). Segundo o Anuário Brasileiro da Pecuária (2014) a projeção feita para a produção brasileira de carnes para a próxima década é de 13,6 milhões de toneladas, e para tal utilizará 113,8 milhões de hectares, cultivadas em solos com baixo teor de Se.

Ambas culturas são passíveis de biofortificação agrônômica com Se, ou seja, podem adquirir maior quantidade desse elemento por meio de adubação juntos às culturas, para então alcançarem, através da alimentação, os seres humanos e animais.

As micorrizas arbusculares (MAs) são as simbioses de maior ocorrência no planeta (SIQUEIRA & FRANCO, 1988; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006), ocorrem em 80% das espécies vegetais, e tem se mostrado eficientes à absorção de minerais e água para as plantas (BERBARA et al., 2006). Assim como mostrado por Durán et al. (2013), Moraes et al. (2012) e Siqueira et al. (2002), devido à sua funcionalidade, as MAs podem ser utilizadas para auxiliar no enriquecimento nutricional dos alimentos agricultáveis como exemplo na absorção de N, P, K, Zn e Cu pelas plantas de sorgo e soja inoculadas com *Glomus etunicatum* (BRESSAN et al., 2001), plantas de milho e pimenta verde na absorção de P e Zn com os fungos *Glomus moseea* e *G. etunicatum* (ORTAS, 2012), e plantas de alho na absorção de Se com o FMA *Glomus etunicatum* (LARSEN et al., 2006). Considerando o papel das MAs, torna-se

importante conhecer o efeito dessa simbiose na absorção de Se do solo, a fim de utilizá-las como estratégia para incrementar o teor de Se nos alimentos.

Diante deste contexto, o presente trabalho tem o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de doses de selenato de sódio ao solo e a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no crescimento das plantas e no aumento do teor de Se na soja e braquiária.

2.0 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, em delineamento experimental inteiramente ao acaso. Para as plantas de soja e braquiária, utilizou-se o esquema fatorial 5 x 2, composto por 5 doses de Se, na ausência e presença de micorriza arbuscular, com 3 repetições. Para a braquiária, foram utilizadas as doses de 0,0; 0,5; 1,0; 3,0 e 6,0 mg kg⁻¹, enquanto que a soja as doses foram 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 3,0 mg kg⁻¹, ambas baseadas nos estudos de Ramos et al. (2012) e Yu et al. (2011), respectivamente. Para todos os cultivos, utilizou-se o selenato de sódio (Na₂SeO₄) (Sigma-Aldrich, Saint Louis, USA) devido ao maior potencial de absorção de Se pelas plantas, quando fornecido nesta forma. O tratamento de inoculação com FMA constou da aplicação de inoculo misto com propágulos das espécies *Acaulospora morrowiae* (UFLA 469) e *Claroideoglossum etunicatum* (UFLA 217), ambas obtidas da coleção de fungos micorrízicos arbusculares da UFLA. Utilizou-se vasos com 5 kg de solo, e a cultivar de soja utilizada foi a Iguaçu RR (ciclo super precoce). A braquiária cultivada foi a *Urochloa decumbens*.

A inoculação com FMAs foi realizada antecedendo o plantio aplicando inoculo de solo a 2,5 cm abaixo da superfície do solo, utilizando 50 ml de solo inoculo, com aproximadamente 1000 esporos, aplicados em todos os vasos com

tratamento micorrizado e solo inoculo estéril para não micorrizado. Antes do cultivo, as sementes de soja foram desinfestadas e adicionadas inoculo comercial de bactérias fixadoras de nitrogênio, contendo *Bradyrhizobium elkani* e *B. japonicum*. As sementes de braquiária foram tratadas com H₂SO₄ concentrado, por 1 min, e em seguida lavadas em água corrente, para eliminar microrganismos contaminantes e facilitar a germinação. Após 15 dias do plantio, realizou-se o desbaste, deixando 2 e 20 plantas por vaso, para a soja e braquiária, respectivamente. Durante todo o cultivo a umidade do solo foi mantida a 60% do volume total de poros, por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada.

O teor de Se no solo foi de 0,06 mg kg⁻¹, mostrando ser um solo com baixo teor desse elemento. Antes do cultivo, o solo foi peneirado e esterilizado em autoclave a 121° C durante 1 hora por duas vezes consecutivas, a fim de eliminar fungos micorrízicos nativos. Após a autoclavagem o solo foi corrigido com calcário dolomítico para elevar a saturação por bases a 50% conforme requerido por ambas culturas (RIBEIRO et al., 1999). A adubação utilizada foi a recomendada para vasos (MALAVOLTA, 1980), reduzindo a dose de P, a fim de garantir boa micorrização. Foram utilizadas as seguintes formas e dosagens dos nutrientes em cada vaso: 0,66 g dm⁻³ de NH₄H₂PO₄ (plantio), 0,31 g dm⁻³ de KH₂PO₄ (plantio) 0,14 g dm⁻³ de KNO₃ (plantio e primeira cobertura), 0,26 g dm⁻³ de NH₄NO₃ (plantio e primeira cobertura), 0,38 g dm⁻³ de MgSO₄7H₂O (plantio), 2,86 g dm⁻³ de H₃BO₃ (plantio), 5,9 g dm⁻³ de CuSO₄5H₂O (plantio), 22 g dm⁻³ de ZnSO₄7H₂O (plantio) e 1,3 g dm⁻³ de (NH₄)₆Mo₇O₂₄4H₂O (plantio).

A braquiária foi cultivada por 60 dias, enquanto a soja permaneceu por 90 dias. Na colheita, as plantas da braquiária foram separadas em parte aérea e raiz, e as plantas de soja foram separadas em raiz, parte aérea e grãos. As raízes recém tiradas dos vasos, para ambas as culturas, foram lavadas e tiveram 1

grama coletadas para análise da colonização micorrízica (PHILLIPS J. M.; HAYMAN, 1970) para posterior avaliação pelo método da placa quadriculada (GIOVANNETTI; MOSSE, 1980). Para ambas as culturas, os materiais vegetais colhidos foram cuidadosamente lavados em água destilada e encaminhados para a estufa de circulação forçada a 50°C por 48 horas, para a obtenção da matéria seca das raízes, da parte aérea (folhas e caules) e grãos.

Em seguida, realizou-se a análise química para determinação do teor de Se, pelo método USEPA3051A (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1998) em que 0.5 g dos tecidos secos foram digeridos em 3 mL de ácido nítrico em forno micro-ondas (CEM, model Mars 5 CEM Corporation, Matthews, USA). Para controle analítico de qualidade as análises foram certificadas utilizando padrão BCR 402 (White Clover) (Sigma-Aldrich, Saint Louis, USA). Foram utilizados brancos e material certificado em cada bateria de digestão. A leitura dos extratos foi realizada através de espectroscopia de absorção atômica com atomização eletrotérmica em forno de grafite.

Os resultados estatísticos foram obtidos através da análise de variância e regressão utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011). As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A colonização micorrízica das raízes foi elevada nas duas plantas, com as médias de 77,3% para a soja e 76,9% para a braquiária e não houve colonização nas plantas não inoculadas.

Para a braquiária houve efeito significativo da interação entre as doses de selênio e a inoculação de micorrizas para a produção de matéria seca da parte aérea e da raiz (Tabela 1). No cultivo da soja não houve interação das micorrizas com as doses de Se. Foi observado efeito das doses de Se sobre todas as variáveis estudadas, no entanto, observou-se efeito isolado da micorrização apenas para a produção de massa seca da parte aérea. Assim, verificou que a resposta da soja às doses de selênio não é influenciada pela presença de micorriza (Figura 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) da braquiária e MSPA, MSR e produção de grãos (PG) da soja, em função das doses de Se e presença e ausência de micorriza

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio				
		Braquiária		Soja		
		MSPA	MSR	MSPA	MSR	PG
Micorriza	1	11,40*	0,76 ^{NS}	16,03**	0,08 ^{NS}	0,26 ^{NS}
Doses de Se	4	34,93**	6,38**	6,49**	0,45*	29,12*
Micorriza x Se	4	4,53*	5,09**	0,59 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,40 ^{NS}
Resíduo	20	1,50	0,77	1,36	0,15	8,14
CV (%)		3,95	8,32	9,05	29,12	33,21

** , * , NS – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

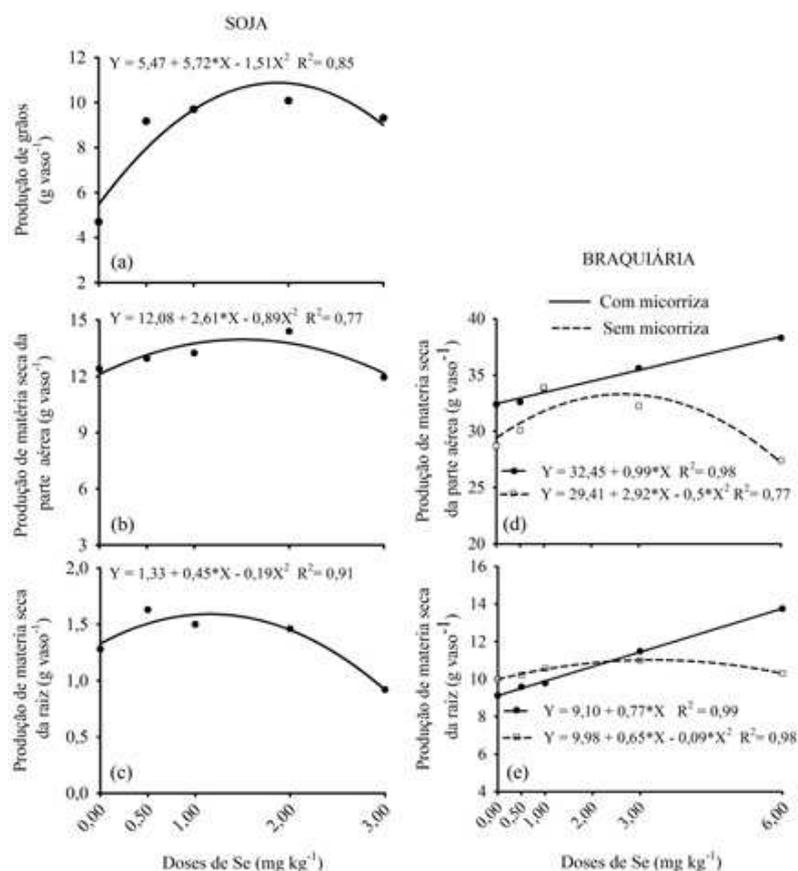


Figura 1. Produção de grãos da soja (a), e da matéria seca da parte aérea e de raiz em plantas de soja (b e c) e em plantas de braquiária (d e e) em função das doses de selênio e presença e ausência de micorriza.

Para a soja, observou-se que a máxima produção de matéria seca ocorreu entre as doses de Se de 1 e 1,89 mg kg⁻¹. Em doses superiores a estas o crescimento da parte aérea foi reduzido. Esse mesmo comportamento foi verificado para a produção de grãos e raiz (Figura 1a, 1b e 1c). De acordo com o ajuste do modelo de regressão, a aplicação de Se proporcionou um aumento na produção de grãos superior a 60%, atingindo maior produção com a dose 1,89 mg kg⁻¹ (Figura 1a). Houve efeito significativo da inoculação micorrízica na

produção de matéria seca da parte aérea da soja, cujo aumento foi de 12% (Figura 2 e Tabela 2), enquanto que a produção das raízes e grãos não apresentaram efeito significativo, quanto à inoculação de MAs (Tabelas 1 e 2). YU et al. (2011) também observaram redução no crescimento da soja, em doses de Se acima de 2 mg kg^{-1} , tanto na presença como na ausência de micorrizas. Na literatura, é descrito que o Se em baixas concentrações promove efeito benéfico nas plantas, por atuar nos mecanismos fisiológicos de proteção da mesma, promovendo maior tolerância ao estresse oxidativo nos cloroplastos, proporcionados pela melhor atividade da enzima glutathione peroxidase na presença desse elemento (XUE & HARTIKAINEN, 2000). Entretanto, em altas concentrações nas plantas, esse elemento pode comprometer o desenvolvimento vegetal, causando decréscimo da síntese de proteína e morte prematura (MENGEL & KIRBY, 1987; TERRY et al., 2000), o que é explicado pela maior troca de S por Se em aminoácidos e proteínas (KABATA-PENDIAS, 2011). Além disso, o excesso de Se ativa reações oxidativas causadas por radicais livres de oxigênio, elevando a concentração de superóxidos, o que antecipa a senescência da planta (HARTIKAINEN et al., 2000).



Figura 2. Plantas de soja na dose 2 mg kg^{-1} , na presença (esquerda) e ausência (direita) de inoculação micorrízica.

Tabela 2. Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), raiz (MSR) e grãos das plantas de soja, na presença (+ mic) e ausência (- mic) de micorrizas

Micorrizas	MSPA	MSR	Grãos
	g vaso ⁻¹		
- mic	12,19 b	1,30 a	8,50 a
+ mic	13,65 a	1,41 a	8,69 a

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p=0,05).

Para as plantas de braquiária, os maiores valores observados para a produção da matéria seca da parte aérea e da raiz foram na presença das micorrizas, principalmente na maior dose de Se aplicada com ajuste crescente e linear (Figura 1d e 1e). Para as plantas não inoculadas, observou-se um ajuste quadrático, com redução na produção da massa seca da parte aérea e raiz. A produção das raízes decresceu a partir da dose de Se 3,61 mg kg⁻¹, enquanto que as raízes de plantas micorrizadas não apresentaram limitação de crescimento dentro do intervalo das doses de Se estudadas.

A influência no crescimento vegetal das plantas micorrizadas, se deve ao aumento da capacidade de nutrição mineral das mesmas, diretamente influenciado pela aquisição de água e nutrientes pelo fungo, ou indiretamente, modificando a taxa de transpiração e a composição da microfauna rizosférica, (MARSCHNER & DELL, 1994). Nas menores doses de Se, a micorrização estimulou o crescimento vegetal da braquiária, enquanto na maior dose e ausência de micorriza, houve decréscimo da produção de matéria seca (Tabela 3). Esse resultado está de acordo com os observados por Ramos et al. (2012), os quais observaram para plantas de braquiária sem micorrização, que as doses de Se até 1 mg kg⁻¹ contribuem para o maior crescimento vegetal. Esses mesmos autores, também observaram que o Se aplicado em doses superiores a 3 mg kg⁻¹ comprometeu o crescimento da braquiária. Esse mesmo comportamento foi observado por Cartes et al. (2005) para o azevém nas doses acima de 4 mg kg⁻¹.

Os resultados observados no presente estudo também corroboram com os verificados por Silva et al. (2006), os quais observaram que FMAs promoveram maior crescimento de forrageiras. Duran et al. (2013) ao avaliarem os efeitos da MAs, seleno-bactérias e selenato de sódio na produção de biomassa do trigo, verificaram que os tratamentos aplicados não foram significativos para a produção de biomassa.



Figura 3. Plantas de braquiária na dose 6 mg kg^{-1} , na presença (esquerda) e ausência (direita) de inoculação micorrízica.

Tabela 3. Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR) das plantas de braquiária, na presença (+ mic) e ausência (- mic) de micorrizas.

Dose mg kg^{-1}	MSPA		MSR	
	- Mic	+ Mic	- Mic	+ Mic
0	28,70 b	32,6 a	9,10 a	10,00 a
0,5	30,11 b	32,4 a	9,60 a	10,23 a
1	33,90 a	33,8 a	9,76 a	10,56 a
3	32,27 b	35,6 a	11,03 a	11,50 a
6	27,40 b	38,3 a	10,30 b	13,76 b

Letras iguais nas linhas dentro da mesma variável não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p=0,05$).

Como demonstrado na figura 3, as micorrizas arbusculares propiciaram efeito protetor para as plantas de braquiária na maior dose de Se aplicada, aliviando o stress causado pelo excesso desse elemento. Esse estudo mostrou efeito benéfico das micorrizas no crescimento das plantas de braquiária. Possivelmente, as MAs amenizaram o excesso de Se nos órgãos da planta ou compartimentou-o nas suas estruturas fúngicas, ou ainda, regulou a absorção do Se. É sabido que esses microrganismos podem excluir ou selecionar o elemento para a planta, através de interações específicas com o tecido fúngico, como retenção, precipitação e biossorção (MOREIRA, F. M. ; SIQUEIRA, 2006).

De acordo com a análise de variância (Tabela 4) e embora tenha ocorrido efeito significativo da inoculação de FMA para os teores de Se nas raízes da soja (Tabela 5), não houve interação entre os dois fatores testados para essa variável. Comportamento semelhante foi observado para os teores de Se na parte aérea e nos grãos. Para a braquiária, os teores desse elemento foram influenciados por ambos os fatores. Os modelos de respostas para os teores de Se, em função das doses aplicadas, estão apresentando nas figuras 4 d e 4e, que mostram também os efeitos significativos para micorrizas. No entanto, as plantas micorrizadas da braquiária apresentaram teores menores nas raízes, sendo observado o inverso na parte aérea.

Tabela 4. Resumo da análise de variância dos teores de selênio na parte aérea (TPA) e raiz (TRaiz), da braquiária e soja, e os teores nos grãos da soja (TGrãos), em função das doses de Se e presença e ausência de micorriza

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio				
		Braquiária		Soja		
		TPA	TRaiz	TPA	TRaiz	TGrãos
Micorriza	1	1,92**	164,26**	10,24 ^{NS}	1066,36*	0,0001 ^{NS}
Doses de Se	4	64,89**	11760,43**	257,32**	10765,20**	0,0455**
Micorriza x Se	4	1,61**	135,00**	1,19 ^{NS}	123,59 ^{NS}	0,0009 ^{NS}
Resíduo	20	0,07	7,60	2,47	195,97	0,0003
CV (%)		6,32	6,32	15,43	23,78	23,10

** , * , NS – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 5. Teor de Selênio na massa seca da parte aérea (TPA), raiz (Traiz) e grãos (Tgrãos) das plantas de soja, na presença (+ mic) e ausência (- mic) de micorrizas.

Micorrizas	TPA	Traiz	Tgrãos
	mg kg ⁻¹		
- mic	9,60 a	52,90 b	0,07 a
+ mic	10,77 a	64,83 a	0,08 a

Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p=0,05).

Segundo Terry et al. (2000), as plantas apresentam diferentes capacidades de extração/absorção e acúmulo de Se. No presente estudo, verificou-se que, independentemente da micorrização, as plantas de soja e braquiária apresentam teores de Se semelhantes na raiz (Figura 4c e 4e). No entanto, a soja tendeu a transportar maior quantidade de Se para a parte aérea, devido ao maior teor de Se nesse tecido, que o observado para a braquiária (Figura 4b e 4d). Essa diferença, possivelmente, pode estar associada a uma maior afinidade dos transportadores de longa distância de Se na soja que na braquiária ou ainda relacionada a um efeito de diluição, visto que a produção de matéria seca da parte aérea da braquiária foi superior a da soja (Figura 1b e 1d).

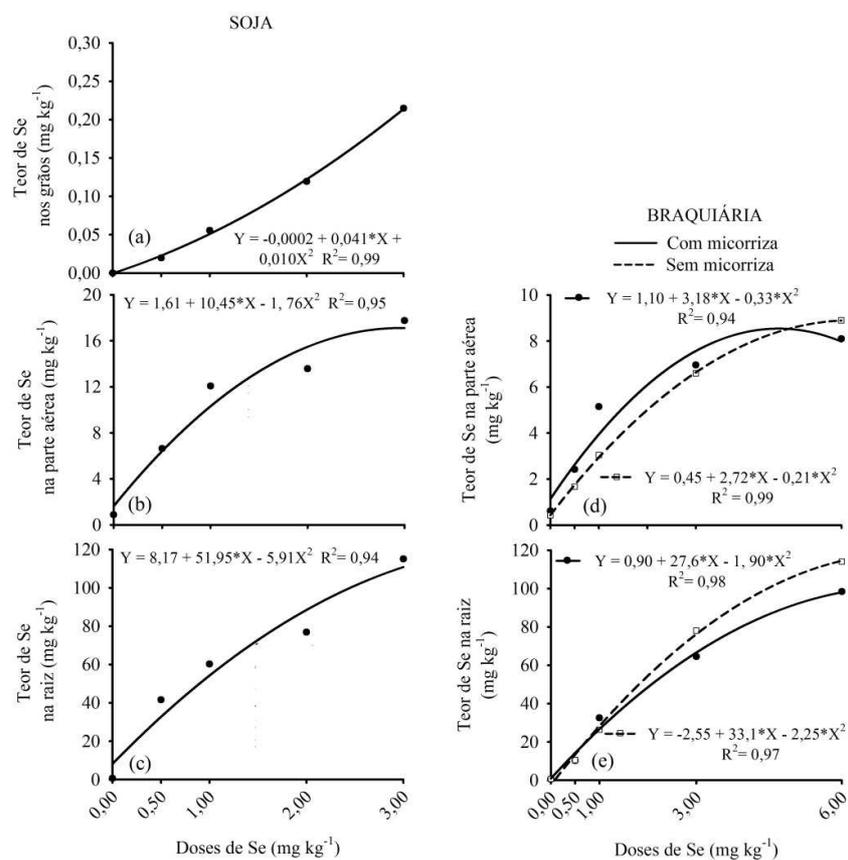


Figura 4. Teor de selênio em grãos de soja (a), na parte aérea e raiz em plantas de soja (b e c) e em plantas de braquiária (d e e) em função das doses de selênio e presença e ausência de micorriza.

Para o teor de Se nas raízes, observou-se comportamento diferente entre as espécies avaliadas, quando foram inoculadas com FMAs. A soja apresentou teores de Se maiores na presença de MAs, enquanto que a braquiária os teores foram menores na presença de MAs (Figura 4e, e Tabela 5). Tal resultado pode ser atribuído ao efeito de diluição devido ao crescimento das raízes, já que a braquiária apresenta produção de raiz superior à da soja (Figura 1c e 1e), e que a taxa de colonização das MAs não foi significativa para ambas as culturas.

O teor de Se na parte aérea da braquiária aumentou em função das doses de Se aplicadas no solo, e o efeito favorável da micorriza ocorreu até a dose 4,81 mg kg⁻¹ (Figura 4d). Na parte aérea, houve redução no teor de Se na maior dose aplicada e, esse fato por estar associado à presença de FMAs, que agiu como agente tampão, amenizando o excesso de Se no solo. Isso pode ser comprovado pelo maior crescimento da braquiária nas maiores doses de Se, conforme mostrado anteriormente na figura 1d. As MAs possuem ação biocontroladora, amenizando estresses causados por fatores diversos como metais pesados e poluentes orgânicos (SIQUEIRA et al., 2002).

O que se busca em programas de biofortificação com Se é elevar o teor desse elemento sem comprometer negativamente o crescimento e a produção das culturas. Nesse sentido, observou-se que a biofortificação com Se nos grãos de soja e nas folhas da braquiária dependeu mais das doses de Se do que da presença de micorriza. Para a soja, doses de Se de até 2 mg kg⁻¹ não comprometeram o crescimento de parte aérea e produção de grãos e, ainda promoveu nos grãos uma elevação de 12 vezes no teor de Se e 114 % na produção. Para a braquiária, observou-se que a presença de MAs foi extremamente favorável para o maior desenvolvimento vegetal e, as MAs na maior dose de Se aplicada elevou em 20 vezes o teor de Se na parte aérea. Por sua vez, na ausência de MAs, a maior dose de Se aplicada reduziu o crescimento vegetal. Nesse caso, tal como observado por Ramos et al. (2012), recomenda-se doses menores de Se quando não são utilizados MAs para biofortificação com Se em braquiária. Yuling & Yuanying, (2014) também visualizaram aumento no teor de Se em grãos de soja, de acordo com a dose aplicada em um experimento com selenito de sódio, e os valores encontrados por esses autores são semelhantes aos observados no presente estudo. O teor em grãos de soja, em um experimento na China, também foi aumentado significativamente quando submetido à adubação com selenato de sódio (YANG et al., 2003).

De acordo com National Reserch Council (2000) é recomendado até 2,0 mg kg⁻¹ de Se na matéria seca das forragens para alimentação animal, o que implica, de acordo com este experimento, na dose de Se de 0,29 mg kg⁻¹ quando inoculada com FMA, para atender a necessidade de ingestão de Se. Ao observarmos as plantas sem inoculação, a dose recomendada seria de 0,59 mg kg⁻¹, ou seja, 50% a mais de Se seria aplicado, em relação às plantas inoculadas. Para a soja, o teor máximo de Se permitido por grão para consumo é até 0,3 mg kg⁻¹ (BUTTERWORTH; BUGANG, 2006), valor que não é atingido com a dose máxima aplicada de selenato de sódio aqui testada, entretanto a dose 6 mg kg⁻¹ contribuiu para a elevação do teor de Se no grãos.

4.0 CONCLUSÕES

A aplicação do Se no solo aumentou o crescimento vegetal da soja e da braquiária, sendo esse crescimento mais acentuado na presença de micorriza e na maior dose de Se para a braquiária. A aplicação de selenato de sódio elevou o teor de Se nos grãos de soja em todas as doses testadas.

A aplicação de Se no solo elevou o teor de Se nos grãos da soja e nas folhas da braquiária e, as micorrizas não tiveram efeito nítido para o teor desse elemento em ambas as espécies. A aplicação de selenato de sódio em doses elevadas teve efeito negativo no crescimento das plantas, entretanto a micorriza exerceu efeito protetor contra o excesso deste elemento no solo.

As micorrizas arbusculares apresentaram um efeito benéfico e protetor no crescimento da braquiária na maior dose de Se aplicada.

REFERÊNCIAS

ANUÁRIO BRASILEIRO DA PECUÁRIA. **Anuário Brasileiro da Pecuária**. Santa Cruz do Sul, RS: Editora Gazeta, 2014.

ANZANELLO, R.; DE SOUZA, P. V. D.; CASAMALI, B. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em porta-enxertos micropropagados de videira. **Bragantia**, v. 70, p. 409–415, 2011.

BANUELOS, S. G.; LIN, Z.-Q.; YIN, X. Selenium in the Environment and Human Health. In: **Selenium in the Environment and Human Health**. [s.l.] CRC Press Taylor & Francis, 2013. p. 248.

BERBARA, R. L. L.; SOUZA, F. A.; FONSECA, M. A. C. H. III - FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES : Muito Além da Nutrição. In: **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: [s.n.]. p. 53–85.

BRESSAN, W. et al. Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 315–323, fev. 2001.

BROADLEY, M. et al. Beneficial Elements. In: MARSCHNER'S, P. (Ed.). . **Mineral Nutrition of Higher Plants**. third ed.[s.l.] Elsevier, 2012. p. 263–268.

BURK, R. F. Selenium. In: **Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids**. [s.l.] National Academy of Sciences, 2003. p. 283–324.

BUTTERWORTH, J.; BUGANG, W. **China, Peoples Republic of FAIRS Product Specific Maximum Levels of Contaminants in Foods**. Bejin: [s.n.].

CABRAL, M. C.; BASTOS, W. R. **ANALISE DE SELÊNIO EM PEIXES , VEGETAIS E SOLOS DO LAGO PURUZINHO – AMAZÔNIA**. 2006. FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA, Porto Velho, 2006.

CARTES, P.; GIANFREDA, L.; MORA, M. L. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. **Plant and Soil**, v. 276, p. 359–367, 2005.

CARVALHO, G. S. **Selênio E Mercúrio Em Solos Sob Cerrado Nativo**. 2011. Universidade Federal de Lavras, 2011.

CLARK, L. C. et al. Effect of selenium supplementation for cancer prevention 1983-96: A randomized clinical trial. **FASEB Journal**, v. 11, n. 3, 1997.

CLÁUDIO TAKAO, K. et al. Gênero *Stylosanthes*. In: FONSECA, D. M.; J.A., M. (Eds.). . **Plantas Forrageiras**. Viçosa: Editora Viçosa, 2011. p. 366–401.

COMBS, G. F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 05, p. 517–547, mar. 2000.

COZZOLINO, S. M. F. ; MICHELAZZO, F. B. . Biodisponibilidade: conceitos, definições e aplicabilidade. In: **Biodisponibilidade de Nutrientes**. 4. ed. Barueri - São Paulo: Editora Manole Ltda, 2012. p. 3–10.

DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das Pastagens no Brasil**. [s.l.] EMBRAPA, 2014.

DURÁN, P. et al. Enhanced selenium content in wheat grain by co-inoculation of selenobacteria and arbuscular mycorrhizal fungi: A preliminary study as a potential Se biofortification strategy. **Journal of Cereal Science**, v. 57, n. 3, p. 275–280, maio 2013.

FARIA, L. DE ABREU. **Levantamento sobre Selênio em solos e plantas do Estado de São Paulo e sua aplicação em plantas forrageiras**. 2009. Universidade de São Paulo - USP, 2009.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, nov. 2011.

FERREIRA, K. S. et al. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Publica/Pan American Journal of Public Health**, v. 11, n. 3, p. 172–177, 2002.

FERREIRA, K. S. **Fontes Alimentares de Selenio**. Disponível em: <<http://www.uenf.br/dic/ascom/2012/08/08/fontes-alimentares-de-selenio/>>. Acesso em: 20 jan. 2015.

FORDYCE, F. M. Selenium Deficiency and Toxicity in the Environment. In: SELINUS, O. (Ed.). . **Essentials of Medical Geology**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. p. 375;413.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489–500, 1980.

HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. **Journal of trace elements in medicine and biology : organ of the Society for Minerals and Trace Elements (GMS)**, v. 18, n. 4, p. 309–18, jan. 2005.

HARTIKAINEN, H.; XUE, T.; PIIRONEN, V. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. **Plant and Soil**, v. 225, n. 1997, p. 193–200, 2000.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace Elements in Soil and plants**. 4. ed. [s.l.: s.n.].

LARSEN, E. H. et al. Uptake and speciation of selenium in garlic cultivated in soil amended with symbiotic fungi (mycorrhiza) and selenate. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v. 385, n. 6, p. 1098–1108, jun. 2006.

LEITE, H. P.; SARNI, R. S. Radicais livres, anti-oxidantes e nutrição. 2003.

LEUSTEK, T. Sulfate metabolism. **The Arabidopsis book / American Society of Plant Biologists**, v. 1, p. 1–17, jan. 2002.

MAIHARA, V. A. et al. Daily dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 259, n. 3, p. 465–468, 2004.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. [s.l.] Agronômica Ceres, 1980.

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v. 159, n. 1, p. 89–102, 1994.

MENGEL, K.; KIRBY, E. **Principles of Plant Nutrition**. [s.l.] Bern: International Potash Institute, 1987.

MIRANDA, J. C. C. DE; MIRANDA, L. N. DE. Micorriza Arbuscular. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Eds.). **BILOGIA DOS SOLOS DOS CERRADOS**. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 1997. p. 67–111.

MORAES, M. F. et al. **Práticas agronomicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares** 2009.

MORAES, M. F. et al. BIOFORTIFICAÇÃO – ALTERNATIVA À SEGURANÇA NUTRICIONAL. **INFORMAÇÕES AGRONOMICAS**, n. 140, p. 9–15, dez. 2012.

MOREIRA, F. M. .; SIQUEIRA, J. O. Micorrizas. In: **Microbiologia e bioquímica do solo**. Segunda ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. p. 543, 661.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.

MUNIER-LAMY, C. et al. Selenium bioavailability and uptake as affected by four different plants in a loamy clay soil with particular attention to mycorrhizae inoculated ryegrass. **Journal of environmental radioactivity**, v. 97, n. 2-3, p. 148–58, jan. 2007.

NOGUEIRA, M. A.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas Arbusculares e Elementos-Traço. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Eds.). . **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2010. p. 475–501.

ORTAS, I. Do Maize and Pepper Plants Depend on Mycorrhizae in Terms of Phosphorus and Zinc Uptake? **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n. 11, p. 1639–1656, ago. 2012.

PATHARAJAN, S.; RAAMAN, N. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and selenium uptake by garlic plants. **Archives Of Phytopathology And Plant Protection**, v. 45, n. 2, p. 138–151, jan. 2012.

PHILLIPS J. M.; HAYMAN, D. S. **Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection**. [s.l.: s.n.].

PILON-SMITH, E. H. A. .; QUINN, C. F. . Selenium Metabolism in Plants. In: HELL, R.; RALF-RAINER MENDEL (Eds.). . **Cell Biology of Metals and Nutrients**. [s.l.] SPRINGER, 2010. v. 17p. 281–298.

POUYÚ-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O. Micorriza arbuscular e fertilização do solo no desenvolvimento pós-transplante de mudas de sete espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 103–114, jan. 2000.

RAMOS, S. J. et al. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. **Plant, Soil and Environment**, v. 56, n. 12, p. 584–588, 2010.

RAMOS, S. J. et al. Response of brachiaria grass to selenium forms applied in a tropical soil. **Plant, Soil and Environment**, p. 521–527, 2012.

RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 61, n. 2, p. 203–215, 2002.

RAYMAN, M. P. ; Food-chain selenium and human health: emphasis on intake. **British Journal of Nutrition**, p. 254–268, 2008.

REIS L.S.L.S. et al. Efeito da suplementação com selênio sobre a concentração sérica de creatina kinase em bovinos. **Archivos de zootecnia**, v. 58 (224), p. 753–756, 2009.

RIBEIRO, A. C. .; GUIMARÃES, P. T. G. .; ALVAREZ V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação**. Viçosa: Editora Viçosa, 1999.

SILVA, S. DA; SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. F. S. Fungos micorrízicos no crescimento e na extração de metais pesados pela braquiária em solo contaminado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1749–1757, dez. 2006.

SIQUEIRA, J. O. et al. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. **Mycorrhiza**, v. 7, n. 6, p. 293–300, maio 1998.

SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. MICORRIZAS. In: SIQUEIRA, J. O.; FRANCO, A. A. (Eds.). **Biologia do solo perspectivas e fundamentos**. 1. ed. Brasília: MEC; ABEAS; ESAL; FAEPE, 1988. p. 125–166.

SIQUEIRA, J. O.; LAMBAIS, M. R. .; STÜRMER, S. L. . Fungos micorrízicos. **Biologia Ciência & Desenvolvimento**, p. 12, 21, 2002.

SIQUEIRA, J.; SAGGIN-JÚNIOR, O. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, v. 11, n. 5, p. 245–255, out. 2001.

SMITH, S.E. & READ, D. J. **Mycorrhizal symbiosis**. 3.ed. ed. London: Academic Press, 2008.

Soja: Exportação. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/exportacao>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

SORS, T. G.; ELLIS, D. R.; SALT, D. E. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. **Photosynthesis research**, v. 86, n. 3, p. 373–389, dez. 2005.

SUBCOMMITTEE ON BEEF CATTLE NUTRITION, N. RRSEARCH C. **Nutrient Requirements of Beef Caattle**. 7. ed. Washington: National Academy Press, 2000.

TERRY, N. et al. Selenium in higher plants. **Annual Review of Plant Biology**, v. 51, p. 401–432, 2000.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 3051 A: micro-wave assisted acid digestion of sediments sludges, soils and oils. In: **Sw-846: Test methods for evaluation solid waste physical and chemical methods**. Washington: Office of Solid Waste, US. Environmental Protection Agency, 1998. p. 1–20.

WHANGER, P. D. Selenium and its relationship to cancer: an update. **British Journal of Nutrition**, v. 91, n. 01, p. 11–28, mar. 2004.

XUE, T.; HARTIKAINEN, H. Association of antioxidative enzymes with the synergistic effect of selenium and UV irradiation in enhancing plant growth. **Agricultural and Food Science in Finland**, v. 9, n. 2, p. 177–186, 2000.

YANG, F. et al. Effect of the application of selenium on selenium content of soybean and its products. **Biological trace element research**, v. 93, p. 249–256, 2003.

YU, Y. et al. Accumulation and speciation of selenium in plants as affected by arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. **Biological trace element research**, v. 143, n. 3, p. 1789–98, dez. 2011.

YULING, Y.; YUANYING, L. Distribution of selenium in selenite-enriched soybean. **Journal of Chemical and Pharmaceutical Research**, v. 6, n. 4, p. 318–321, 2014.